

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-157711

(P2002-157711A)

(43) 公開日 平成14年5月31日 (2002.5.31)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 1 1 B 5/39		G 1 1 B 5/39	2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		H 0 1 F 10/32	5 D 0 3 4
H 0 1 F 10/32		H 0 1 L 43/08	Z 5 E 0 4 9
H 0 1 L 43/08		G 0 1 R 33/06	R

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2000-349106 (P2000-349106)

(22) 出願日 平成12年11月16日 (2000.11.16)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 瀬山 喜彦

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 田中 厚志

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100105094

弁理士 山▲崎▼ 薫

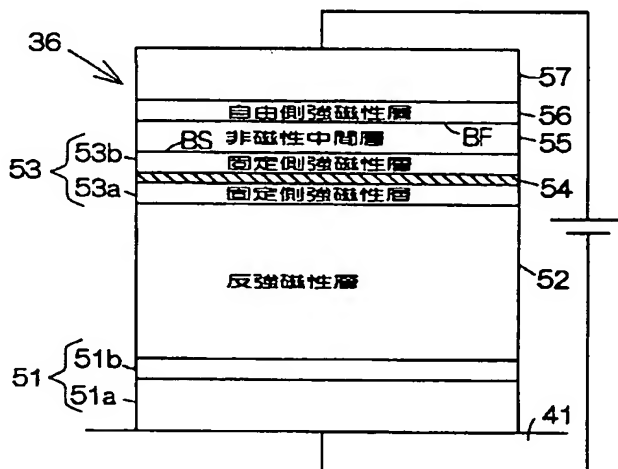
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 CPP構造スピンバルブヘッド

(57) 【要約】

【課題】 少ない積層数で確実に大きな抵抗変化量を得ることができるCPP構造スピンバルブヘッドを提供する。

【解決手段】 CPP構造スピンバルブヘッド36では、センス電流は絶縁層54を突き抜ける。絶縁層54に形成される微細な欠陥すなわちピンホールの働きで絶縁層54をまたぐ電子の移動は実現されと考えられる。ピンホールに電流は集中する。その結果、こういったスピンバルブヘッド36では、電流の通過断面が縮小される際と同様に、自由側強磁性層56で確立される磁化方向の反転に応じて大きな抵抗変化量が実現されることができる。こういったCPP構造スピンバルブヘッド36は磁気記録の一層の高密度化に大いに貢献することができる。このスピンバルブヘッド36では、いわゆるトンネル接合磁気抵抗効果素子に比べて抵抗値は低減される。サーマルノイズの発生は抑制される。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 自由側強磁性層と、第1境界面で自由側強磁性層に接触する非磁性中間層と、第2境界面で非磁性中間層に接触する固定側強磁性層と、固定側強磁性層で非磁性中間層から隔てられる絶縁層とを備えることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【請求項2】 請求項1に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記絶縁層は、少なくとも2種類の元素からなる化合物を含むことを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【請求項3】 請求項2に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記化合物は酸化物であることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【請求項4】 請求項1に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記絶縁層は1対の固定側強磁性層で挟み込まれることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【請求項5】 自由側強磁性層と、第1境界面で自由側強磁性層に接触する非磁性中間層と、第2境界面で非磁性中間層に接触する固定側強磁性層と、自由側強磁性層で非磁性中間層から隔てられる絶縁層とを備えることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【請求項6】 請求項5に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記絶縁層は、少なくとも2種類の元素からなる化合物を含むことを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【請求項7】 請求項6に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記化合物は酸化物であることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【請求項8】 請求項5に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記絶縁層は1対の自由側強磁性層で挟み込まれることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【請求項9】 請求項5に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記固定側強磁性層で前記非磁性中間層から隔てられる絶縁層をさらに備えることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自由側強磁性層と、第1境界面で自由側強磁性層に接触する非磁性中間層と、第2境界面で非磁性中間層に接触する固定側強磁性層とを備えるスピバルブ膜に関し、特に、こういったスピバルブ膜内で第1および第2境界面の鉛直方向に沿ってセンス電流を流通させるC P P (current perpendicular to the plane) 構造スピバルブヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】C P P構造磁気抵抗効果ヘッドでは、積層されるGMR (巨大磁気抵抗効果) 膜の積層数が増加

2

すればするほど、大きな抵抗変化量が得られる。周知の通り、抵抗変化量が大きければ、小さな電流値のセンス電流で2値の磁気情報は正確に読み取られることができる。特に、こういったC P P構造磁気抵抗効果ヘッドでは、コア幅の縮小に拘わらず大きな抵抗変化量は維持されることができる。C P P構造磁気抵抗効果ヘッドは磁気記録の一層の高密度化に大いに貢献すると考えられる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、こうして多数のGMR膜が積層されると、コア幅の縮小に伴い記録トラック密度は向上されることができても、線密度の向上すなわちビット長の短縮化は妨げられてしまう。磁気記録の高密度化は期待されたとおりに達成されることはできない。しかも、こういったC P P構造磁気抵抗効果ヘッドでは、自由側強磁性層の磁区を制御することが難しい。

【0004】本発明は、上記実状に鑑みてなされたもので、少ない積層数で確実に大きな抵抗変化量を得ることができるC P P構造スピバルブヘッドを提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、第1発明によれば、自由側強磁性層と、第1境界面で自由側強磁性層に接触する非磁性中間層と、第2境界面で非磁性中間層に接触する固定側強磁性層と、固定側強磁性層で非磁性中間層から隔てられる絶縁層とを備えることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッドが提供される。

【0006】また、第2発明によれば、自由側強磁性層と、第1境界面で自由側強磁性層に接触する非磁性中間層と、第2境界面で非磁性中間層に接触する固定側強磁性層と、自由側強磁性層で非磁性中間層から隔てられる絶縁層とを備えることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッドが提供される。

【0007】こういったC P P構造スピバルブヘッドでは、外部から作用する磁界の向きに応じて自由側強磁性層の磁化方向は回転する。こうして自由側強磁性層の磁化方向が回転すると、スピバルブヘッドの電気抵抗は大きく変化する。第1境界面や第2境界面の鉛直方向に沿ってセンス電流が流通すると、電気抵抗の変化に応じてセンス電流にはレベルの変化 (例えば電圧変化) が出現する。

【0008】このとき、スピバルブヘッドではセンス電流は絶縁層を突き抜ける。絶縁層に形成される微細な欠陥すなわちピンホールの働きで絶縁層をまたぐ電子の移動は実現されると考えられる。ピンホールに電流は集中する。その結果、こういったスピバルブヘッドでは、電流の通過断面が縮小される際と同様に、自由側強磁性層で確立される磁化方向の反転に応じて大きな抵抗

変化量が実現されることができる。こういったCPP構造スピバルブヘッドは磁気記録の一層の高密度化に大いに貢献することができる。しかも、こういったスピバルブヘッドでは、いわゆるトンネル接合磁気抵抗効果(TMR)素子に比べて抵抗値は例えば1/10程度といった具合に低減される。いわゆるサーマルノイズの発生は抑制されることができる。ただし、センス電流は少なくとも鉛直方向成分を備えればよい。

【0009】絶縁層は、少なくとも2種類の元素からなる化合物を含めばよい。このとき、化合物には、酸化物のほか、窒化物や炭化物、硼化物が含まれることができる。例えば絶縁層は1対の固定側強磁性層や1対の自由側強磁性層で挟み込まれてもよい。絶縁層の形成にあたっては、例えばスパッタリング法に基づく化合物の堆積が用いられてもよい。その他、固定側強磁性層や自由側強磁性層の表面に酸素や窒素といった反応性元素が結びつけられれば、絶縁層は形成されることができる。

【0010】さらに、第3発明によれば、自由側強磁性層と、第1境界面で自由側強磁性層に接触する非磁性中間層と、第2境界面で非磁性中間層に接触する固定側強磁性層と、固定側強磁性層で非磁性中間層から隔てられる第1絶縁層と、自由側強磁性層で非磁性中間層から隔てられる第2絶縁層とを備えることを特徴とするCPP構造スピバルブヘッドが提供される。

【0011】こういったCPP構造スピバルブヘッドによれば、前述と同様に、絶縁層に形成される微細な欠陥すなわちピンホールの働きでピンホールに電流は集中する。その結果、こういったスピバルブヘッドでは、電流の通過断面が縮小される際と同様に、自由側強磁性層で確立される磁化方向の反転に応じて大きな抵抗変化量が実現されることができる。しかも、このスピバルブヘッドでは、1対の絶縁層の間でいわゆるスペキュラー散乱が達成されると考えられる。その結果、自由側強磁性層で確立される磁化方向に応じてさらに大きな抵抗変化量は実現されることができる。

【0012】なお、こういったCPP構造スピバルブヘッドは、例えばハードディスク駆動装置(HDD)といった磁気記録媒体駆動装置に組み込まれて使用されればよい。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照しつつ本発明の一実施形態を説明する。

【0014】図1は磁気記録媒体駆動装置の一具体例すなわちハードディスク駆動装置(HDD)11の内部構造を概略的に示す。このHDD11は、例えば平たい直方体の内部空間を区画する箱形の筐体本体12を備える。收容空間には、記録媒体としての1枚以上の磁気ディスク13が收容される。磁気ディスク13はスピンドルモータ14の回転軸に装着される。スピンドルモータ14は、例えば7200rpmや10000rpmとい

った高速度で磁気ディスク13を回転させることができる。筐体本体12には、筐体本体12との間で收容空間を密閉する蓋体すなわちカバー(図示せず)が結合される。

【0015】收容空間には、垂直方向に延びる支軸15回りで揺動するキャリッジ16がさらに收容される。このキャリッジ16は、支軸15から水平方向に延びる剛体の揺動アーム17と、この揺動アーム17の先端に取り付けられて揺動アーム17から前方に延びる弾性サスペンション18とを備える。周知の通り、弾性サスペンション18の先端では、いわゆるジンバルばね(図示せず)の働きで浮上ヘッドスライダ19は片持ち支持される。浮上ヘッドスライダ19には、磁気ディスク13の表面に向かって弾性サスペンション18から押し付け力が作用する。磁気ディスク13の回転に基づき磁気ディスク13の表面で生成される気流の働きで浮上ヘッドスライダ19には浮力が作用する。弾性サスペンション18の押し付け力と浮力とのバランスで磁気ディスク13の回転中に比較的に高い剛性で浮上ヘッドスライダ19は浮上し続けることができる。

【0016】こうした浮上ヘッドスライダ19の浮上中に、キャリッジ16が支軸15回りで揺動すると、浮上ヘッドスライダ19は半径方向に磁気ディスク13の表面を横切ることができる。こうした移動に基づき浮上ヘッドスライダ19は磁気ディスク13上の所望の記録トラックに位置決めされる。このとき、キャリッジ16の揺動は例えばボイスコイルモータ(VCM)といったアクチュエータ21の働きを通じて実現されればよい。周知の通り、複数枚の磁気ディスク13が筐体本体12内に組み込まれる場合には、隣接する磁気ディスク13同士の間で1本の揺動アーム17に対して2つの弾性サスペンション18が搭載される。

【0017】図2は浮上ヘッドスライダ19の一具体例を示す。この浮上ヘッドスライダ19は、平たい直方体に形成されるAl₂O₃-TiC(アルチック)製のスライダ本体22と、このスライダ本体22の空気流出口端に接合されて、読み出し書き込みヘッド23を内蔵するAl₂O₃(アルミナ)製のヘッド素子内蔵膜24とを備える。スライダ本体22およびヘッド素子内蔵膜24には、磁気ディスク13に対向する媒体対向面すなわち浮上面25が規定される。磁気ディスク13の回転に基づき生成される気流26は浮上面25に受け止められる。

【0018】浮上面25には、空気流入端から空気流出口端に向かって延びる2筋のレール27が形成される。各レール27の頂上面にはいわゆるABS(空気軸受け面)28が規定される。ABS28では気流26の働きに応じて前述の浮力が生成される。ヘッド素子内蔵膜24に埋め込まれた読み出し書き込みヘッド23は、後述されるように、ABS28で露出する。なお、浮上ヘッ

5

ドスライダ19の形態はこういった形態に限られるものではない。

【0019】図3は浮上面25の様子を詳細に示す。読み出し書き込みヘッド23は、磁気ディスク13から作用する磁界に応じて変化する抵抗に基づき2値情報を読み取るCPP構造スピバルブヘッド素子30と、導電コイルパターン(図示せず)で生起される磁界を利用して磁気ディスク13に2値情報を書き込む誘導書き込みヘッド素子31とを備える。スピバルブヘッド素子30は、例えばFeNやNiFeといった材料から構成される下部シールド層32の表面に形成される。下部シールド層32は、例えば、前述のヘッド素子内蔵膜24の下側半層を構成するAl₂O₃(アルミナ)膜33の表面に広がる。スピバルブヘッド素子30は、下部シールド層32の表面に積層されるAl₂O₃(アルミナ)膜といった非磁性層34に埋め込まれる。

【0020】スピバルブヘッド素子30は、基礎層すなわち下部シールド層32の表面に沿って広がる下側電極端子層35を備える。この下側電極端子層35は、例えばAuやCuといった導電性金属材料から形成されればよい。下側電極端子層35の表面にはスピバルブ膜36が積層される。スピバルブ膜36の詳細は後述される。

【0021】このスピバルブ膜36は、同様に基礎層すなわち下部シールド層32の表面に沿って広がる1対の磁区制御膜37に挟み込まれる。磁区制御膜37は例えばCoCrPtから構成されればよい。この磁区制御膜37は、周知の通り、スピバルブ膜36を横切る1方向に沿って磁化方向を規定することができる。この磁区制御膜37の働きで、スピバルブ膜36内では自由側強磁性層(free layer)の単磁区化は実現される。スピバルブ膜36および磁区制御膜37は、下側電極端子層35の表面に積層される絶縁層38に埋め込まれる。絶縁層38は例えばAl₂O₃膜やSiO₂膜から構成されればよい。

【0022】絶縁層38の表面には上部シールド層39が広がる。この上部シールド層39は、下部シールド層32との間にスピバルブ膜36を挟み込む。上部シールド層39は例えばNiFeから構成されればよい。スピバルブ膜36の表面には、絶縁層38の合間から延びる上部シールド層39が受け止められる。すなわち、こうしてスピバルブ膜36に接触する上部シールド層39はスピバルブヘッド素子30の上側電極端子層として機能する。この上部シールド層39および下側電極端子層35の働きでスピバルブ膜36にはセンス電流が供給されることができる。上部シールド層39と磁区制御膜37とは絶縁層38の働きで相互に隔離される。

【0023】以上のような上部シールド層39は同時に誘導書き込みヘッド素子31の下部磁極層として機能する。すなわち、上部シールド層39の表面には非磁性ギ

6

ャップ層40が配置される。非磁性ギャップ層40は例えばAl₂O₃(アルミナ)で構成されればよい。上部シールド層39には、この非磁性ギャップ層40を挟んで上部磁極層41が向き合う。上部磁極層41は例えばNiFeから構成されればよい。周知の通り、導電コイルパターンで磁界が生起されると、非磁性ギャップ層40の働きで、上部磁極層41と上部シールド層39とを行き交う磁束流は浮上面25から漏れ出る。こうして漏れ出る磁束流によって記録磁界(ギャップ磁界)は形成される。

【0024】上部磁極層41は、非磁性ギャップ層40の表面に沿って広がるAl₂O₃(アルミナ)膜42に覆われる。このAl₂O₃膜42は前述のヘッド素子内蔵膜24の上側半層を構成する。すなわち、Al₂O₃膜42は前述のAl₂O₃膜33と協働してヘッド素子内蔵膜24を構成する。

【0025】ここで、本発明の第1実施形態に係るスピバルブ膜36の構造を詳細に説明する。このスピバルブ膜36は、図4に示されるように、逆積層構造のシングルスピバルブ膜に構成される。すなわち、スピバルブ膜36は、下側電極端子層35の表面に広がる下地層51を備える。この下地層51は、例えば下側電極端子層35の表面に広がる膜厚5.0nm程度のTa層51aと、このTa層51aの表面に広がる膜厚2.0nm程度のNiFe層51bとで構成されればよい。下地層51の表面には、例えば膜厚15.0nm程度のPdPtMn層で構成される反強磁性層(pinning layer)52が重ね合わせられる。

【0026】反強磁性層52の表面には固定側強磁性層(pinned layer)53が積層される。この固定側強磁性層53は、反強磁性層52の表面に広がって、例えば表面で絶縁層54を受け止める第1強磁性層53aと、絶縁層54の表面に積層されて、第1強磁性層53aとの間に絶縁層54を挟み込む第2強磁性層54bとを備える。絶縁層54は例えば第1強磁性層53aの酸化物膜で形成されればよい。第1強磁性層53aや第2強磁性層53bは例えば膜厚2.0nm程度のCoFeB層で構成されればよい。

【0027】固定側強磁性層53の表面には、例えば膜厚2.8nm程度のCuで構成される非磁性中間層55や、例えば膜厚2.0nm程度のCoFeB層で構成される自由側強磁性層(free layer)56が順番に積層される。自由側強磁性層56の表面には例えば膜厚5.0nm程度のTa層57が積層される。Ta層57の表面には、例えば膜厚10.0nm程度のCu層や膜厚10.0nm程度のAu層といったキャップ層(図示せず)が順番に形成されてもよい。

【0028】こういったスピバルブ膜36では、相互に重ね合わせられる自由側強磁性層56と非磁性中間層55との間に第1境界面BFは規定される。同様に、相

互に重ね合わせられる固定側強磁性層53と非磁性中間層55との間に第2境界面BSは規定される。絶縁層54は、固定側強磁性層53中の第2強磁性層53bの介在で非磁性中間層55から隔てられることができる。

【0029】磁気情報の読み出しにあたってスピバルブヘッド素子30が磁気ディスク13の表面に向き合わせられると、スピバルブ膜36では、周知の通り、磁気ディスク13から作用する磁界の向きに応じて自由側強磁性層56の磁化方向は回転する。こうして自由側強磁性層56の磁化方向が回転すると、スピバルブ膜36の電気抵抗は大きく変化する。したがって、上側シールド層39および下側電極端子層35からスピバルブ膜36にセンス電流が供給されると、電気抵抗の変化に応じて上側シールド層39および下側電極端子層35から取り出される電気信号のレベルは変化する。このレベルの変化に応じて2値情報は読み取られることができる。

【0030】このとき、スピバルブヘッド素子30では、上側シールド層39および下側電極端子層35の間を流れる電流は絶縁層54を突き抜ける。図5に示されるように、絶縁層54に形成される微細な欠陥すなわちピンホール58の働きで絶縁層54をまたぐ電子の移動は実現されると考えられる。ピンホール58に電流は集中する。その結果、こういったスピバルブヘッド素子30では、電流の通過断面が縮小される際と同様に、自由側強磁性層56で確立される磁化方向の反転に応じて大きな抵抗変化量が実現されることができる。小さな電流値のセンス電流で十分なレベルの変化すなわち電圧変化は検出されることができる。したがって、こういったC P P構造スピバルブヘッド素子30は磁気記録の一層の高密度化や消費電力の低減に大いに貢献することができる。しかも、こういったスピバルブヘッド素子30では、いわゆるトンネル接合磁気抵抗効果(TMR)素子に比べて抵抗値は例えば1/10程度といった具合に低減される。いわゆるサーマルノイズの発生は抑制されることができる。しかも、こういったスピバルブヘッド素子30では、スピバルブ膜36を挟み込む1対の磁区制御膜37の働きで比較的簡単に自由側強磁性層56の磁区は制御されることができる。

【0031】次にスピバルブヘッド素子30の製造方法を簡単に説明する。周知の通り、アルチック製ウェハー(図示せず)の表面にはAl₂O₃膜33が成膜される。このAl₂O₃膜33上で下部シールド層32は積層形成される。続いて、下部シールド層32すなわち基礎層の表面には、図6に示されるように、膜厚10.0nm程度のAu膜61が積層形成される。この積層にあたって例えばスパッタリング法が用いられればよい。Au膜61は下側電極端子層35の形状に象られる。続いてAu膜61の表面には、スピバルブ膜36と同一の層構造で構成される第1素材膜62が積層される。この

第1素材膜62の形成工程の詳細は後述される。

【0032】図6に示されるように、続いて第1素材膜62上には、規定の削り出し形状に象られたレジスト膜63が形成される。例えばイオンミリング処理が実施されると、図7に示されるように、レジスト膜63の周囲で第1素材膜63は削り取られる。こうして第1素材膜62は、規定の形状に象られた第2素材膜64に削り出される。Au膜61の表面には、削り出された第2素材膜64を挟み込むCoCrPt層65が積層される。レジスト膜63はCoCrPt層65の積層後に除去されればよい。こうして規定の形状に積層形成された第2素材膜64およびCoCrPt層65は、周知の通り、第2素材膜64を横切る1直線に沿って延びる長尺素材66に削り出される。

【0033】図8に示されるように、続いてAu膜61上には絶縁材膜67が積層形成される。絶縁材膜67は長尺素材66に完全に覆い被さる。絶縁材膜67の表面にはレジスト膜68が形成される。例えばRIE(リアクティブイオンエッチング)処理が実施されると、図9に示されるように、レジスト膜68の周囲で絶縁材膜67は削り取られる。こうして絶縁層38は絶縁材膜67から削り出される。絶縁層38の合間でスピバルブ膜36の表面は露出する。その後、レジスト膜68は除去される。

【0034】図10に示されるように、絶縁層38上にはNiFe層69がさらに積層される。この積層にあたって例えばスパッタリング法が用いられればよい。このNiFe層69の表面にはレジスト膜71が形成される。このレジスト膜71は上部シールド層39の形状を象る。例えばRIE処理が実施されると、図11に示されるように、レジスト膜71の周囲でNiFe層69は削り取られる。こうして上部シールド層39は削り出される。その後、レジスト膜71は除去される。

【0035】こうして下側電極端子層35、スピバルブ膜36、磁区制御膜37、絶縁層38および上部シールド層39が形成されると、下部シールド層32の表面にはAl₂O₃膜34が成膜される。下側電極端子層35、スピバルブ膜36、磁区制御膜37、絶縁層38および上部シールド層39はAl₂O₃膜34に埋め込まれる(例えば図3参照)。こうしたAl₂O₃膜34上に、周知の通り、誘導書き込みヘッド素子31の非磁性ギャップ層40や上部磁極層41は順番に積層形成されていく。こういった積層に先立ってAl₂O₃膜34には平坦化研磨処理が実施されてもよい。この平坦化研磨処理が実施されると、上部シールド層39の表面はAl₂O₃膜34の合間で露出することができる。

【0036】素材膜63の形成にあたって、下側電極端子層35の表面には、例えば図12に示されるように、膜厚5.0nm程度のTa層71、膜厚2.0nm程度のNiFe層72、膜厚15.0nm程度のPdPtM

n層73および膜厚2.0nm程度のCoFeB層74が順番に積層形成される。こういった積層にあたっては真空チャンバ内で例えばスパッタリング法が実施されればよい。CoFeB層74の積層後にチャンバ内には例えば酸素ガスが導入される。その結果、CoFeB層74の表面は酸化する。この酸化反応でCoFeB層74の表面には酸化物膜が形成される。その後、酸化物膜上には、膜厚2.0nm程度のCoFeB層、膜厚2.8nm程度のCu層、膜厚2.0nm程度のCoFeB層および膜厚5.0nm程度のTa層が相次いで積層形成される。Ta層の表面には、さらに、膜厚10.0nm程度のCu層や膜厚10.0nm程度のAu層が積層形成されてもよい。

【0037】こういったスピバルブヘッド素子30の製造方法では、スピバルブ膜36内に絶縁層54を形成するにあたって、既存のスピバルブ膜の形成過程でチャンバ内に酸素ガスが導入されればよい。既存の製造方法を流用しつつ比較的簡単に絶縁層54の形成は実現されることができる。既存の製造装置が利用されることができる。ただし、酸素ガスの導入に代えて酸素プラズマが用いられてもよい。

【0038】以上のようなスピバルブ膜36は、例えば図13に示されるように、順積層構造のシングルスピバルブ膜に構成されてもよい。すなわち、このスピバルブ膜36では、下地層51の表面に、自由側強磁性層56、非磁性中間層55、固定側強磁性層53、反強磁性層52およびTa層57が相次いで重ね合わせられる。前述と同様に、自由側強磁性層56と非磁性中間層55との間には第1境界面BFが規定される。固定側強磁性層53と非磁性中間層55との間には第2境界面BSが規定される。固定側強磁性層53では第1および第2強磁性層53a、53bの間に絶縁層54は挟み込まれる。絶縁層54は第1強磁性層53aの介在で非磁性中間層55から隔てられることができる。こういった絶縁層54は、前述と同様に、第1強磁性層53aの表面に形成される酸化物膜で構成されればよい。

【0039】図14は本発明の第2実施形態に係るスピバルブ膜36aの構造を示す。このスピバルブ膜36aでは、固定側強磁性層53に積層フェリ構造膜が用いられる。この積層フェリ構造膜は、反強磁性層52の表面に広がる第1強磁性層75aと、この第1強磁性層75aとの間に例えば膜厚0.8nm程度のRu層76を挟み込む第2強磁性層75bとを備える。第2強磁性層75bの表面には前述と同様に絶縁層54が形成される。絶縁層54の表面には第3強磁性層75cがさらに積層される。こうして絶縁層54は第3強磁性層75cの介在で非磁性中間層55から隔てられることができる。このとき、各強磁性層75a~75cは例えば膜厚2.0nm程度のCoFeB層で構成されればよい。こうした積層フェリ構造膜の採用によれば、固定側強磁性

層53の磁化方向が強固に固定される結果、前述のスピバルブ膜36に比べてさらに大きな抵抗変化量は実現されることができる。その他、前述と同様な作用や機能を実現する構成には同一の参照符号が付与される。重複する説明は割愛される。

【0040】図15は本発明の第3実施形態に係るスピバルブ膜36bの構造を示す。このスピバルブ膜36bでは、自由側強磁性層56とTa層57との間に絶縁層54bは挟み込まれる。こういった絶縁層54bは例えば酸化物膜で構成されればよい。絶縁層54bは自由側強磁性層56の介在で非磁性中間層55から隔てられることができる。このとき、固定側強磁性層53や自由側強磁性層56の膜厚は各々例えば2.0nm程度に設定されればよい。こうしたスピバルブ膜36bによれば、前述のスピバルブ膜36、36aと同様に、自由側強磁性層56で確立される磁化方向に応じて大きな抵抗変化量は実現されることができる。

【0041】酸化物膜は、例えば自由側強磁性層56の表面に積層形成される膜厚2.0nm程度のFe₂O₃層およびAl₂O₃層で構成されればよい。こういった積層形成には例えばスパッタリング法が用いられればよい。その他、酸化物膜の形成にあたっては、前述と同様に、自由側強磁性層56の成膜後にチャンバ内に酸素ガスが導入されてもよく、チャンバ内に酸素プラズマが導入されてもよい。こういった酸素ガスや酸素プラズマは例えば自由側強磁性層56の表面で酸化反応を引き起こす。その結果、自由側強磁性層56の表面には酸化物膜が形成される。こういった場合には、酸素ガスや酸素プラズマの導入に先立って、自由側強磁性層56の表面に例えば膜厚2.0nm程度のCu層および膜厚1.0nm程度のTa層といった被酸化層が成膜されてもよい。

【0042】この第3実施形態では、前述のスピバルブ膜36aと同様に、固定側強磁性層53に積層フェリ構造膜が用いられる。この積層フェリ構造膜は、反強磁性層52の表面に広がる第1強磁性層75dと、この第1強磁性層75dとの間に例えば膜厚0.8nm程度のRu層76を挟み込む第2強磁性層75eとを備える。第1強磁性層75dは例えば膜厚2.0nm程度のCoFeB層で構成されればよい。その一方で、第2強磁性層75eは例えば膜厚2.5nm程度のCoFeB層で構成されればよい。こうした積層フェリ構造膜の採用によれば、固定側強磁性層53の磁化方向が強固に固定される結果、固定側強磁性層53に単純にCoFeB層が採用される場合に比べて大きな抵抗変化量は実現されることができる。ただし、固定側強磁性層53には必ずしも積層フェリ構造膜が用いられる必要はない。その他、前述と同様な作用や機能を実現する構成には同一の参照符号が付与される。重複する説明は割愛される。

【0043】この第3実施形態では、図15から明らかなように、自由側強磁性層56と絶縁層54bとの間に

結合遮断層すなわちCu層77が挟み込まれてもよい。後述されるように、こういったCu層77は自由側強磁性層56の保磁力Hcを十分に弱めることができる。また、絶縁層54bは、例えば図16に示されるように、自由側強磁性層56中に形成されてもよい。こういった絶縁層54bは、例えば第1および第2強磁性層56a、56bに挟み込まれる酸化物膜で構成されればよい。絶縁層54bは第1強磁性層56aの介在で非磁性中間層55から隔てられることができる。このとき、第1および第2強磁性層56a、56bの膜厚は各々2.0nm程度に設定されればよい。固定側強磁性層53の膜厚は例えば2.0nm程度に設定されればよい。

【0044】図17は本発明の第4実施形態に係るスピバルブ膜36cの構造を示す。このスピバルブ膜36cでは、前述のように固定側強磁性層53中に形成される絶縁層54に加えて、自由側強磁性層56とTa層57との間に絶縁層54cが挟み込まれる。前述と同様に、絶縁層54は固定側強磁性層53中の第3強磁性層79cの介在で非磁性中間層55から隔てられることができる。その一方で、絶縁層54cは自由側強磁性層56の介在で非磁性中間層55から隔てられることができる。こうしたスピバルブ膜36cによれば、前述のスピバルブ膜36、36a、36bと同様に、自由側強磁性層56で確立される磁化方向に応じて大きな抵抗変化量は実現される。その他、前述と同様な作用や機能を実現する構成には同一の参照符号が付与される。重複する説明は割愛される。ただし、前述と同様に、固定側強磁性層53には必ずしも積層フェリ構造膜が用いられる必要はない。

【0045】絶縁層54cは、前述の絶縁層54bと同様に、例えば自由側強磁性層56の表面に積層形成される膜厚2.0nm程度のFe₂O₃層およびAl₂O₃層で構成されればよい。こういった積層形成には例えばスパッタリング法が用いられればよい。その他、酸化物膜の形成にあたっては、前述と同様に、自由側強磁性層56の成膜後にチャンバ内に酸素ガスが導入されてもよく、チャンバ内に酸素プラズマが導入されてもよい。こういった酸素ガスや酸素プラズマは例えば自由側強磁性層56の表面で酸化反応を引き起こす。その結果、自由側強磁性層56の表面には酸化物膜が形成される。こういった場合には、酸素ガスや酸素プラズマの導入に先立って、自由側強磁性層56の表面に例えば膜厚2.0nm程度のCu層および膜厚1.0nm程度のTa層といった被酸化層が成膜されてもよい。

【0046】特に、この第4実施形態に係るスピバルブ膜36cでは、例えば図18に示されるように、1対の絶縁層54、54cの間でいわゆるスベキュラー散乱が実現されると考えられる。その結果、後述されるように、自由側強磁性層56で確立される磁化方向に応じてさらに大きな抵抗変化量は達成される。な

お、この第4実施形態では、例えば図19に示されるように、自由側強磁性層56と絶縁層54cとの間に前述の結合遮断層すなわちCu層77が挟み込まれてもよい。

【0047】図20は本発明の第5実施形態に係るスピバルブ膜36dの構造を示す。このスピバルブ膜36dはいわゆるデュアルスピバルブ膜に構成される。すなわち、このスピバルブ膜36dでは、前述と同様に、下地層51、反強磁性層52、絶縁層54を挟み込む固定側強磁性層53、非磁性中間層55および自由側強磁性層56が順番に積み上げられる。絶縁層54は固定側強磁性層53中の第3強磁性層79cの介在で非磁性中間層55から隔てられることができる。

【0048】しかも、この自由側強磁性層56上には、非磁性中間層78、固定側強磁性層79、反強磁性層80およびTa層57が順番に重ね合わせられる。自由側強磁性層56と非磁性中間層78との間には、前述と同様に第1境界面BFが規定される。その一方で、固定側強磁性層79と非磁性中間層78の間には第2境界面BSが規定される。前述と同様な作用や機能を実現する構成には同一の参照符号が付与される。重複する説明は割愛される。

【0049】この第5実施形態では、前述と同様に、固定側強磁性層79に積層フェリ構造膜が用いられる。この積層フェリ構造膜は、非磁性中間層78の表面に広がって、例えば表面で絶縁層54dを受け止める第1強磁性層79aと、絶縁層54dの表面に積層されて、第1強磁性層79aとの間に絶縁層54dを挟み込む第2強磁性層79bとを備える。こうして絶縁層54dは第1強磁性層79aの介在で非磁性中間層78から隔てられることができる。このとき、絶縁層54dは例えば第1強磁性層79aの酸化物膜で形成されればよい。第2強磁性層79bの表面には例えば膜厚0.8nm程度のRu層76が積層される。Ru層76の表面には第3強磁性層79cがさらに積層される。各強磁性層79a~79cは例えば膜厚2.0nm程度のCoFeB層で構成されればよい。その他、非磁性中間層78や反強磁性層80は前述の非磁性中間層55や反強磁性層52と同様に構成されればよい。

【0050】こうしたスピバルブ膜36dによれば、前述のスピバルブ膜36、36a~36cと同様に、自由側強磁性層56で確立される磁化方向に応じて大きな抵抗変化量は実現される。ただし、前述と同様に、固定側強磁性層53、79には必ずしも積層フェリ構造膜が用いられる必要はない。

【0051】図21は本発明の第6実施形態に係るスピバルブ膜36eの構造を示す。このスピバルブ膜36eでは、前述の第5実施形態に係るスピバルブ膜36dで自由側強磁性層56中にさらに絶縁層54eが形成される。こういった絶縁層54eは例えば酸化物膜で

13

構成されればよい。絶縁層54eは各強磁性層56a、56bの介在で各非磁性中間層55、78から隔てられることができる。このとき、強磁性層56a、56bの膜厚は各々2.0nm程度に設定されればよい。その他、前述と同様な作用や機能を実現する構成には同一の参照符号が付与される。重複する説明は割愛される。ただし、前述と同様に、固定側強磁性層53、79には必ずしも積層フェリ構造膜が用いられる必要はない。

【0052】こうしたスピバルブ膜36eによれば、前述のスピバルブ膜36、36a~36dと同様に、自由側強磁性層56で確立される磁化方向に応じて大きな抵抗変化量は実現される。特に、このスピバルブ膜36eでは、前述と同様に、絶縁層54d、54eの間や、絶縁層54e、54の間でいわゆるスベキューラ散乱が達成されると考えられる。その結果、後述されるように、自由側強磁性層56で確立される磁化方向に応じてさらに大きな抵抗変化量は達成されることができる。

【0053】酸化物膜は、例えば第1強磁性層56aの表面に積層形成される膜厚2.0nm程度の Fe_2O_3 層および Al_2O_3 層で構成されればよい。こういった積層形成には例えばスパッタリング法が用いられればよい。その他、酸化物膜の形成にあたっては、前述と同様に、第1強磁性層56aの成膜後にチャンバ内に酸素ガスが導入されてもよく、チャンバ内に酸素プラズマが導入されてもよい。こういった酸素ガスや酸素プラズマは例えば第1強磁性層56aの表面で酸化反応を引き起こす。その結果、第1強磁性層56aの表面には酸化物膜が形成される。こういった場合には、酸素ガスや酸素プラズマの導入に先立って、第1強磁性層56aの表面に例えば膜厚2.0nm程度のCu層および膜厚1.0nm程度のTa層といった被酸化層が成膜されてもよい。

【0054】さらにまた、この第6実施形態では、図22に示されるように、自由側強磁性層56中で各強磁性層56a、56bと絶縁層54eとの間にそれぞれ結合遮断層すなわちCu層77が挟み込まれてもよい。その他、図22では、前述と同様な作用や機能を実現する構成には同一の参照符号が付与される。重複する説明は割愛される。ただし、前述と同様に、固定側強磁性層53、79には必ずしも積層フェリ構造膜が用いられる必要はない。

【0055】図23は本発明の第7実施形態に係るスピバルブ膜36fの構造を示す。このスピバルブ膜36fは、上下1対のスピバルブ膜で反強磁性層を共有するデュアルスピバルブ膜に構成される。すなわち、下地層51の表面に、自由側強磁性層56、非磁性中間層55、固定側強磁性層53および反強磁性層52が相次いで重ね合わせられる。自由側強磁性層56中には絶縁層54fが形成される。こういった絶縁層54fは、例えば第1および第2強磁性層56a、56bに挟み込

14

まれる酸化物膜で構成されればよい。絶縁層54fは第2強磁性層56bの介在で非磁性中間層55から隔てられることができる。このとき、第1および第2強磁性層56a、56bの膜厚は各々2.0nm程度に設定されればよい。

【0056】固定側強磁性層53には積層フェリ構造膜が用いられる。この積層フェリ構造膜は、非磁性中間層55の表面に広がる第1強磁性層75dと、この第1強磁性層75dとの間に例えば膜厚0.8nm程度のRu層76を挟み込む第2強磁性層75eとを備えればよい。第1強磁性層75dは例えば膜厚2.5nm程度のCoFeB層で構成されればよい。その一方で、第2強磁性層75eは例えば膜厚2.0nm程度のCoFeB層で構成されればよい。ただし、前述と同様に、固定側強磁性層53には必ずしも積層フェリ構造膜が用いられる必要はない。その他、前述と同様な作用や機能を実現する構成には同一の参照符号が付与される。重複する説明は割愛される。

【0057】このスピバルブ膜36fでは、反強磁性層52上に、固定側強磁性層83、非磁性中間層84、自由側強磁性層85およびTa層57が順番に積み上げられる。前述と同様に、自由側強磁性層85と非磁性中間層84との間には第1境界面BFが規定される。固定側強磁性層83と非磁性中間層84との間に第2境界面BSが規定される。

【0058】自由側強磁性層85とTa層57との間には絶縁層54gが挟み込まれる。こういった絶縁層54gは、前述と同様に、膜厚2.0nm程度の Fe_2O_3 層で構成されればよい。 Fe_2O_3 層は例えばスパッタリング法で積層形成されればよい。こうして絶縁層54gは自由側強磁性層85の介在で非磁性中間層84から隔てられることができる。このとき、自由側強磁性層85の膜厚は例えば2.0nm程度に設定されればよい。非磁性中間層84は前述の非磁性中間層55と同様に構成されればよい。

【0059】このとき、固定側強磁性層83には積層フェリ構造膜が用いられる。この積層フェリ構造膜は、反強磁性層52の表面に広がる第1強磁性層75dと、この第1強磁性層75dとの間に例えば膜厚0.8nm程度のRu層76を挟み込む第2強磁性層75eとを備えればよい。第1強磁性層75dは例えば膜厚2.0nm程度のCoFeB層で構成されればよい。その一方で、第2強磁性層75eは例えば膜厚2.5nm程度のCoFeB層で構成されればよい。ただし、前述と同様に、固定側強磁性層83には必ずしも積層フェリ構造膜が用いられる必要はない。こうしたスピバルブ膜36fによれば、前述のスピバルブ膜36、36a~36eと同様に、自由側強磁性層56、85で確立される磁化方向に応じて大きな抵抗変化量は実現されることができる。

15

【0060】以上のようなCPP構造スピンバルブヘッド素子30で抵抗変化量は実測された。この実測にあたって16種類のスピンバルブ膜は用意された。試料(a1)に係るスピンバルブヘッド素子には、図4に示されるように、前述の第1実施形態に係るスピンバルブ膜36が組み込まれた。試料(b1)に係るスピンバルブヘッド素子には、図14に示されるように、前述の第2実施形態に係るスピンバルブ膜36aが組み込まれた。

【0061】試料(c1)～(c4)に係るスピンバルブヘッド素子には前述の第3実施形態に係るスピンバルブ膜36bが組み込まれた。ただし、試料(c1)では、図15に示されるように、絶縁層54bの形成にあたって、自由側強磁性層56の表面にはスパッタリング法でFe₂O₃層およびAl₂O₃層が積層された。また、試料(c2)では、絶縁層54bの形成にあたって自由側強磁性層56の表面は酸素ガスに曝された。さらに、試料(c3)では、絶縁層54bの形成にあたって自由側強磁性層56の表面は酸素プラズマに曝された。いずれの場合にも自由側強磁性層56と絶縁層54bとの間にCu層77は挟み込まれなかった。さらにまた、試料(c4)では、図16に示されるように、絶縁層54bは自由側強磁性層56中に埋め込まれた。この絶縁層54bの形成にあたって、第1強磁性層56aの表面にはスパッタリング法でFe₂O₃層およびAl₂O₃層が積層された。

【0062】試料(d1)～(d4)に係るスピンバルブヘッド素子には前述の第4実施形態に係るスピンバルブ膜36cが組み込まれた。ただし、試料(d1)では、図17に示されるように、絶縁層54cの形成にあたって、自由側強磁性層56の表面にはスパッタリング法でFe₂O₃層およびAl₂O₃層が積層された。また、試料(d2)では、絶縁層54cの形成にあたって自由側強磁性層56の表面は酸素ガスに曝された。さらに、試料(d3)では、絶縁層54cの形成にあたって自由側強磁性層56の表面は酸素プラズマに曝された。いずれの場合にも自由側強磁性層56と絶縁層54cとの間にCu層77は挟み込まれなかった。さらにまた、試料(d4)では、図19に示されるように、自由側強磁性層56と絶縁層54cとの間に結合遮断層すなわちCu層77が挟み込まれた。このとき、絶縁層54cの形成にあたって、Cu層77上にはスパッタリング法でFe₂O₃層およびAl₂O₃層が積層された。

【0063】さらにまた、試料(e1)に係るスピンバルブヘッド素子には、図20に示されるように、前述の第5実施形態に係るスピンバルブ膜36dが組み込まれた。同様に、試料(f1)～(f4)に係るスピンバルブヘッド素子には前述の第6実施形態に係るスピンバルブ膜36eが組み込まれた。ただし、試料(f1)では、図21に示されるように、絶縁層54eの形成にあたって、強磁性層56aの表面にはスパッタリング法で

16

Fe₂O₃層およびAl₂O₃層が積層された。また、試料(f2)では、絶縁層54eの形成にあたって強磁性層56aの表面は酸素ガスに曝された。さらに、試料(f3)では、絶縁層54eの形成にあたって強磁性層56aの表面は酸素プラズマに曝された。いずれの場合にも強磁性層56a、56bと絶縁層54eとの間にCu層77は挟み込まれなかった。さらにまた、試料(f4)では、図22に示されるように、各強磁性層56a、56bと絶縁層54eとの間に結合遮断層すなわちCu層77が挟み込まれた。このとき、絶縁層54eの形成にあたって、Cu層77上にはスパッタリング法でFe₂O₃層およびAl₂O₃層が積層された。加えて、試料(g1)に係るスピンバルブヘッド素子には、図23に示されるように、前述の第7実施形態に係るスピンバルブ膜36fが組み込まれた。

【0064】この実測では4種類の比較例が用意された。試料(a0)に係るスピンバルブヘッド素子では前述の試料(a1)から絶縁層54が取り除かれた。固定側強磁性層53の膜厚は4.5nmに設定された。試料(b0)に係るスピンバルブヘッド素子では前述の試料(b1)から絶縁層54が取り除かれた。このとき、非磁性中間層55に接触する強磁性層の膜厚は2.5μmに設定された。試料(e0)に係るスピンバルブヘッド素子では前述の試料(e1)から絶縁層54、54dが取り除かれた。非磁性中間層55、78に接触する強磁性層の膜厚は各々2.5μmに設定された。さらに、試料(g0)に係るスピンバルブヘッド素子では前述の試料(g1)から絶縁層54f、54gが取り除かれた。こうした実測の結果、[表1]～[表4]が得られた。

【0065】

[表1]

試料名	(a0)	(a1)
抵抗変化量ΔR [mΩμm ²]	0.32	0.62

【0066】

[表2]

試料名	(b0)	(b1)				
抵抗変化量ΔR [mΩμm ²]	0.49	0.84				
試料名	(c1)	(c2)	(c3)	(c4)		
抵抗変化量ΔR [mΩμm ²]	23.81	0.86	15.92	23.62		
試料名	(d1)	(d2)	(d3)	(d4)		
抵抗変化量ΔR [mΩμm ²]	72.01	3.23	43.75	72.74		

【0067】

[表3]

17

試料名	(e0)	(e1)				
抵抗変化量 ΔR [m $\Omega\mu m^2$]	3.34	6.38				
試料名		(f1)	(f2)	(f3)	(f4)	
抵抗変化量 ΔR [m $\Omega\mu m^2$]		65.32	7.18	40.54	66.74	

【0068】

【表4】

試料名	(g0)	(g1)
抵抗変化量 ΔR [m $\Omega\mu m^2$]	226	2926

【0069】【表1】～【表4】から明らかなように、絶縁層が除かれた試料(a0)、(b0)、(e0)および(g0)に比べて試料(a1)、(b1)、(c1)～(c4)、(e1)、(f1)～(f4)および(g1)では大幅に素子サイズ1.0 μm^2 時の抵抗変化量 ΔR は増大した。その結果、絶縁層54、54b～54gの挿入に基づきスピバルブヘッド素子30の抵抗変化量 ΔR は増大することが確認された。特に、試料(c1)、(c4)、(d1)、(d4)、(f1)および(f4)のように、スパッタリング法を用いてFe₂O₃層およびAl₂O₃層といった酸化物膜が形成されたスピバルブヘッド素子30では、酸素ガスの導入や酸素プラズマに基づき酸化物膜が形成されたスピバルブヘッド素子に比べて著しく大きな抵抗変化量 ΔR は達成された。しかも、試料(d1)～(d4)および試料(f1)～(f4)から明らかなように、固定側強磁性層53、79中の強磁性層53b、79aで非磁性中間層55、78から隔てられた絶縁層54、54dと、自由側強磁性層56、56a、56bで非磁性中間層55、78から隔てられた絶縁層54c、54eとを同時に備えるスピバルブヘッド素子30では著しく抵抗変化量 ΔR が増大することが確認された。

【0070】さらに、発明者は前述の試料(b1)で酸化時間すなわち酸素ガスの導入持続時間と1 μm^2 時の抵抗値Rや抵抗変化量 ΔR との関係を検証した。このとき、酸素の導入量は0.2[sccm]に設定された。図24(a)および(b)に示されるように、酸化時間が100[s]を超えると高い抵抗変化量 ΔR やMR比は実現されることが確認された。

【0071】さらにまた、発明者は前述の試料(c1)で絶縁層54bの膜厚と1 μm^2 時の抵抗値Rや抵抗変化量 ΔR との関係を検証した。図25(a)および(b)に示されるように、絶縁層54bの膜厚が3.0nmに設定されると、抵抗変化量 ΔR やMR比は最大値を示すことが確認された。

【0072】さらにまた、発明者は前述の試料(c2)で酸化時間すなわち酸素ガスの導入持続時間と1 μm^2 時の抵抗値Rや抵抗変化量 ΔR との関係を検証した。このとき、酸素の導入量は0.2[sccm]に設定された。図26(a)および(b)に示されるように、酸化

18

時間が100[s]を超えると高い抵抗変化量 ΔR やMR比は実現されることが確認された。

【0073】さらにまた、発明者は前述の試料(c3)で酸化時間すなわち酸素プラズマの適用持続時間と1 μm^2 時の抵抗値Rや抵抗変化量 ΔR との関係を検証した。このとき、酸素圧は1.0[Pa]に設定された。図27(a)および(b)に示されるように、酸化時間が300[s]を超えると高い抵抗変化量 ΔR は達成されることが確認された。酸化時間が300[s]に設定されると、MR比は最大値を示すことが確認された。

【0074】さらにまた、発明者は前述の試料(d1)で絶縁層54cの膜厚と1 μm^2 時の抵抗値Rや抵抗変化量 ΔR との関係を検証した。図28(a)および(b)に示されるように、絶縁層54cの膜厚が3.0nmに設定されると、抵抗変化量 ΔR やMR比は最大値を示すことが確認された。

【0075】さらにまた、発明者は前述の試料(d2)で自由側強磁性層56の酸化時間すなわち酸素ガスの導入持続時間と1 μm^2 時の抵抗値Rや抵抗変化量 ΔR との関係を検証した。このとき、酸素の導入量は0.2[sccm]に設定された。図29(a)および(b)に示されるように、酸化時間が100[s]を超えると高い抵抗変化量 ΔR やMR比は実現されることが確認された。

【0076】さらにまた、発明者は前述の試料(d3)で自由側強磁性層56の酸化時間すなわち酸素プラズマの適用持続時間と1 μm^2 時の抵抗値Rや抵抗変化量 ΔR との関係を検証した。このとき、酸素圧は1.0[Pa]に設定された。図30(a)および(b)に示されるように、酸化時間が300[s]を超えると高い抵抗変化量 ΔR は達成されることが確認された。酸化時間が300[s]に設定されると、MR比は最大値を示すことが確認された。

【0077】さらに、発明者は前述の試料(d4)で結合遮断層すなわちCu層77の膜厚と抵抗変化量 ΔR との関係を検証した。その結果、図31(a)から明らかなように、CPP構造スピバルブヘッド素子30では、Cu層77の膜厚に拘わらず一定の抵抗変化量 ΔR は達成されることが確認された。しかも、Cu層77の膜厚が1.0nmを超えると、自由側強磁性層56の保磁力H_cは著しく低下することが確認された。結合遮断層すなわちCu層77の効果は実証された。特に、Cu層77の膜厚は2.0nm以上に設定されることが望まれる。

【0078】その一方で、例えば図31(b)に示されるように、いわゆるCIP(current in the plane)構造スピバルブヘッド素子では、結合遮断層すなわちCu層の膜厚が増大するにつれて抵抗変化量 ΔR は減少してしまう。このCIP構造スピバルブヘッド素子では、周知の通り、例えば前述の下部

19

シールド層32上に積層される非磁性層の表面に沿って両側からスピバルブ膜36cを挟み込む1対の電極端子や磁区制御膜からスピバルブ膜36cに電流は供給された。

【0079】さらにまた、発明者は前述の試料(f1)で絶縁層54eの膜厚と1 μm^2 時の抵抗値Rや抵抗変化量 ΔR との関係を検証した。図32(a)および

(b)に示されるように、絶縁層54eの膜厚が3.0nmに設定されると、抵抗変化量 ΔR やMR比は最大値を示すことが確認された。

【0080】さらにまた、発明者は前述の試料(f3)で強磁性層56aの酸化時間すなわち酸素プラズマの適用持続時間と1 μm^2 時の抵抗値Rや抵抗変化量 ΔR との関係を検証した。このとき、酸素圧は1.0[Pa]に設定された。図33(a)および(b)に示されるように、酸化時間が300[s]に設定されると、抵抗変化量 ΔR およびMR比は最大値を示すことが確認された。

【0081】なお、以上のような絶縁層54、54b~54gは、少なくとも2種類以上の元素からなる化合物を含めばよい。こういった化合物には、前述の酸化物のほか、窒化物や炭化物、硼化物が含まれることができる。

【0082】(付記1) 自由側強磁性層と、第1境界面で自由側強磁性層に接触する非磁性中間層と、第2境界面で非磁性中間層に接触する固定側強磁性層と、固定側強磁性層で非磁性中間層から隔てられる絶縁層とを備えることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【0083】(付記2) 付記1に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記絶縁層は、少なくとも2種類の元素からなる化合物を含むことを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【0084】(付記3) 付記2に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記化合物は酸化物であることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【0085】(付記4) 付記1に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記絶縁層は1対の固定側強磁性層で挟み込まれることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【0086】(付記5) 自由側強磁性層と、第1境界面で自由側強磁性層に接触する非磁性中間層と、第2境界面で非磁性中間層に接触する固定側強磁性層と、自由側強磁性層で非磁性中間層から隔てられる絶縁層とを備えることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【0087】(付記6) 付記5に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記絶縁層は、少なくとも2種類の元素からなる化合物を含むことを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【0088】(付記7) 付記6に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記化合物は酸化物である

20

ことを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【0089】(付記8) 付記5に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記絶縁層は1対の自由側強磁性層で挟み込まれることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【0090】(付記9) 付記5に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記固定側強磁性層で前記非磁性中間層から隔てられる絶縁層をさらに備えることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

10 【0091】(付記10) 付記9に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記絶縁層は、少なくとも2種類の元素からなる化合物を含むことを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【0092】(付記11) 付記10に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記化合物は酸化物であることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【0093】(付記12) 付記9に記載のC P P構造スピバルブヘッドにおいて、前記絶縁層は1対の固定側強磁性層で挟み込まれることを特徴とするC P P構造スピバルブヘッド。

【0094】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、既存のスピバルブ膜と同様な積層数で確実に大きな抵抗変化量は達成されることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 ハードディスク駆動装置(HDD)の構造を概略的に示す平面図である。

【図2】 一具体例に係る浮上ヘッドスライダの構造を概略的に示す拡大斜視図である。

30 【図3】 浮上面で観察される読み出し書き込みヘッドの様子を示す拡大正面図である。

【図4】 本発明の第1実施形態に係るスピバルブ膜の構造を示す拡大側面図である。

【図5】 絶縁層の働きを示す概念図である。

【図6】 スピバルブヘッド素子の製造方法に含まれる1工程を示す部分断面図である。

【図7】 スピバルブヘッド素子の製造方法に含まれる1工程を示す部分断面図である。

40 【図8】 スピバルブヘッド素子の製造方法に含まれる1工程を示す部分断面図である。

【図9】 スピバルブヘッド素子の製造方法に含まれる1工程を示す部分断面図である。

【図10】 スピバルブヘッド素子の製造方法に含まれる1工程を示す部分断面図である。

【図11】 スピバルブヘッド素子の製造方法に含まれる1工程を示す部分断面図である。

【図12】 スピバルブ膜に組み込まれる絶縁層の形成工程を概略的に示す拡大断面図である。

50 【図13】 第1実施形態の一変形例に係るスピバルブ膜の構造を示す拡大側面図である。

21

【図14】 本発明の第2実施形態に係るスピバルブ膜の構造を示す拡大側面図である。

【図15】 本発明の第3実施形態に係るスピバルブ膜の構造を示す拡大側面図である。

【図16】 第3実施形態の一変形例に係るスピバルブ膜の構造を示す拡大側面図である。

【図17】 本発明の第4実施形態に係るスピバルブ膜の構造を示す拡大側面図である。

【図18】 スペキュラー拡散の原理を示す概念図である。

【図19】 第4実施形態の一変形例に係るスピバルブ膜の構造を示す拡大側面図である。

【図20】 本発明の第5実施形態に係るスピバルブ膜の構造を示す拡大側面図である。

【図21】 本発明の第6実施形態に係るスピバルブ膜の構造を示す拡大側面図である。

【図22】 第6実施形態の一変形例に係るスピバルブ膜の構造を示す拡大側面図である。

【図23】 本発明の第7実施形態に係るスピバルブ膜の構造を示す拡大側面図である。

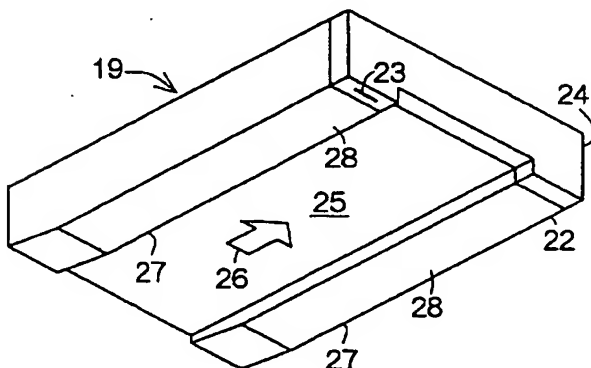
【図24】 試料(b1)に係るスピバルブヘッド素子で、(a)酸素雰囲気下の酸化時間と抵抗値および抵抗変化量との関係、および(b)酸素雰囲気下の酸化時間とMR比との関係を示すグラフである。

【図25】 試料(c1)に係るスピバルブヘッド素子で、(a)絶縁層の膜厚と抵抗値および抵抗変化量との関係、および(b)絶縁層の膜厚とMR比との関係を示すグラフである。

【図26】 試料(c2)に係るスピバルブヘッド素子で、(a)酸素雰囲気下の酸化時間と抵抗値および抵抗変化量との関係、および(b)酸素雰囲気下の酸化時間とMR比との関係を示すグラフである。

【図27】 試料(c3)に係るスピバルブヘッド素子で、(a)酸素プラズマに基づく酸化時間と抵抗値および抵抗変化量との関係、および(b)酸素プラズマに基づく酸化時間とMR比との関係を示すグラフである。*

【図2】



22

*【図28】 試料(d1)に係るスピバルブヘッド素子で、(a)自由側強磁性層上に形成される絶縁層の膜厚と抵抗値および抵抗変化量との関係、および(b)同じく絶縁層の膜厚とMR比との関係を示すグラフである。

【図29】 試料(d2)に係るスピバルブヘッド素子で、(a)自由側強磁性層の酸化時間と抵抗値および抵抗変化量との関係、および(b)自由側強磁性層の酸化時間とMR比との関係を示すグラフである。

10 【図30】 試料(d3)に係るスピバルブヘッド素子で、(a)酸素プラズマに基づく自由側強磁性層の酸化時間と抵抗値および抵抗変化量との関係、および(b)酸素プラズマに基づく自由側強磁性層の酸化時間とMR比との関係を示すグラフである。

【図31】 試料(d4)に係るスピバルブヘッド素子で、結合遮断層の膜厚と、抵抗変化量および自由側強磁性層の保磁力との関係を示すグラフである。

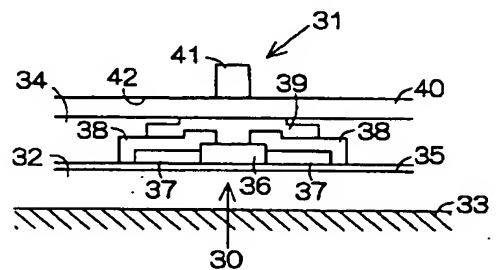
20 【図32】 試料(f1)に係るスピバルブヘッド素子で、(a)自由側強磁性層上に形成される絶縁層の膜厚と抵抗値および抵抗変化量との関係、および(b)同じく絶縁層の膜厚とMR比との関係を示すグラフである。

【図33】 試料(f3)に係るスピバルブヘッド素子で、(a)酸素プラズマに基づく自由側強磁性層の酸化時間と抵抗値および抵抗変化量との関係、および(b)酸素プラズマに基づく自由側強磁性層の酸化時間とMR比との関係を示すグラフである。

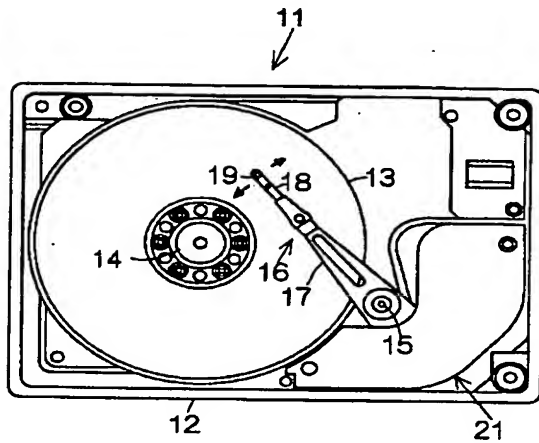
【符号の説明】

31 CPP構造スピバルブヘッド、36, 36a~36h スピバルブ膜、53 固定側強磁性層、54, 54b~54g 絶縁層、55 非磁性中間層、56 自由側強磁性層、78 非磁性中間層、79 固定側強磁性層、83 固定側強磁性層、84 非磁性中間層、85 自由側強磁性層、BF 第1境界面、BS 第2境界面。

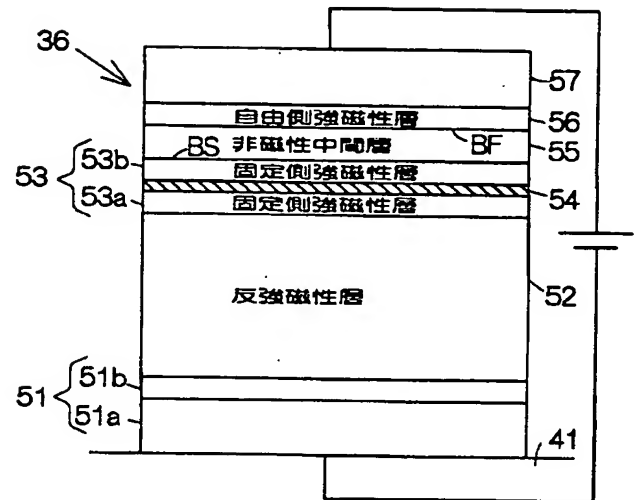
【図3】



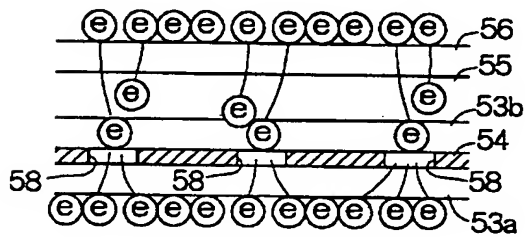
【図1】



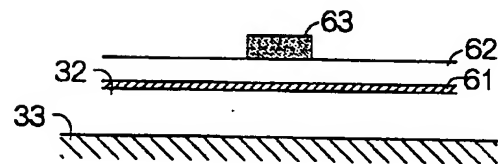
【図4】



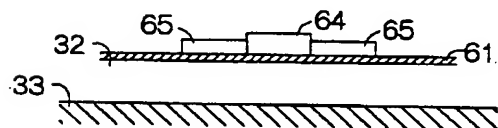
【図5】



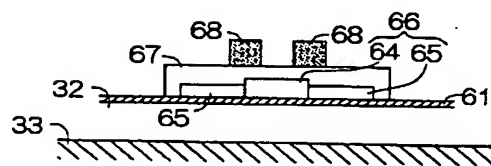
【図6】



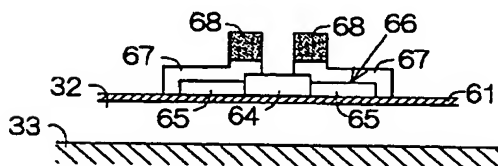
【図7】



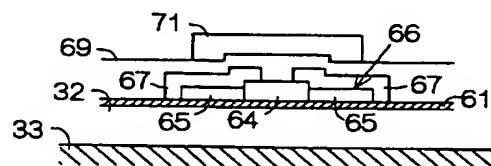
【図8】



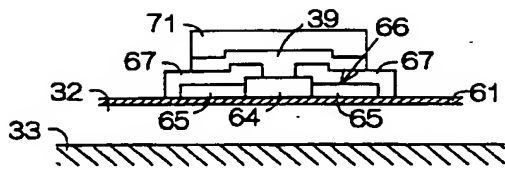
【図9】



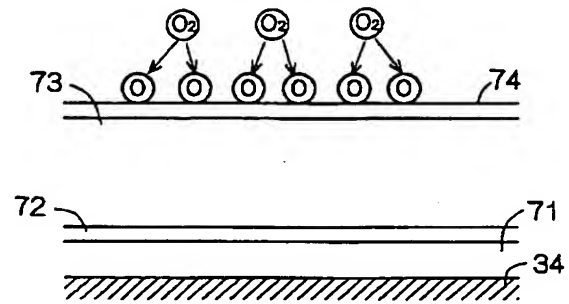
【図10】



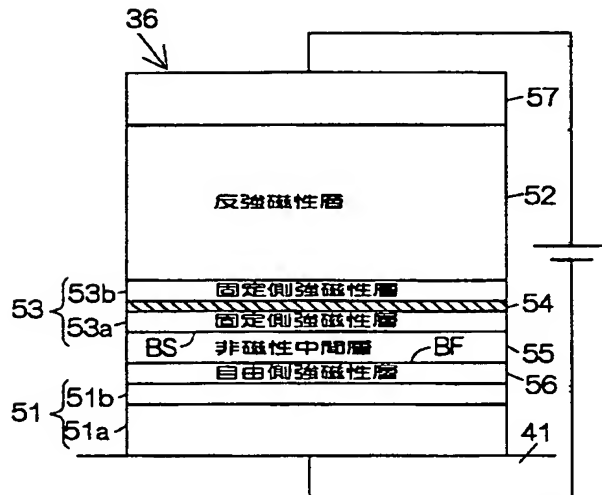
【図11】



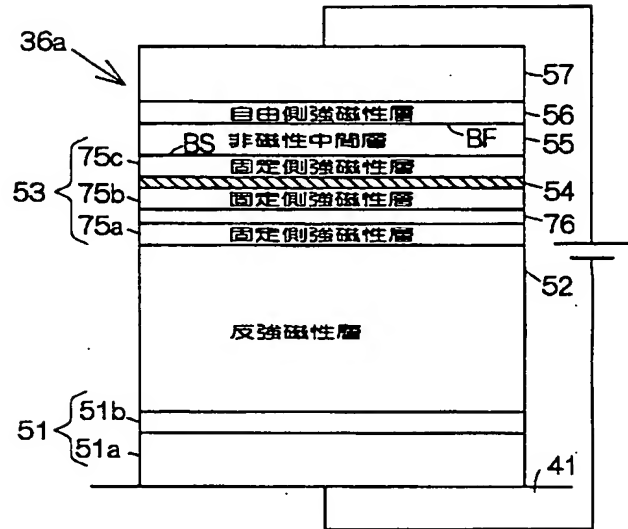
【図12】



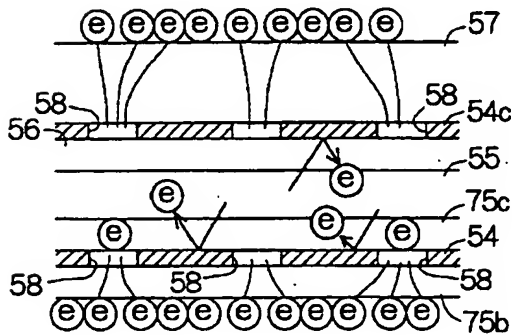
【図13】



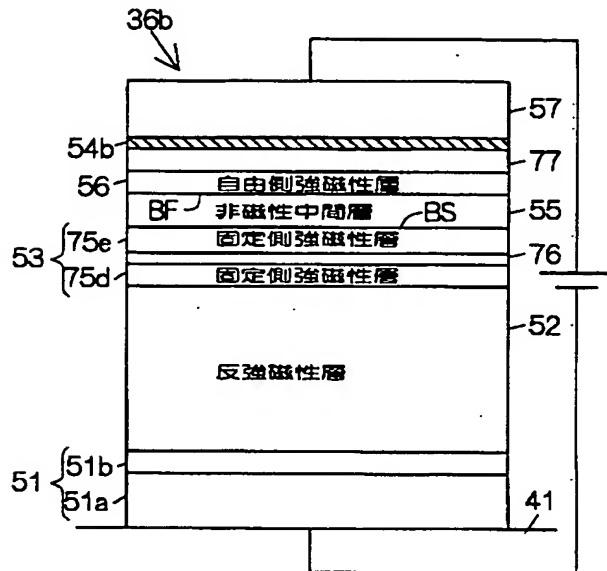
【図14】



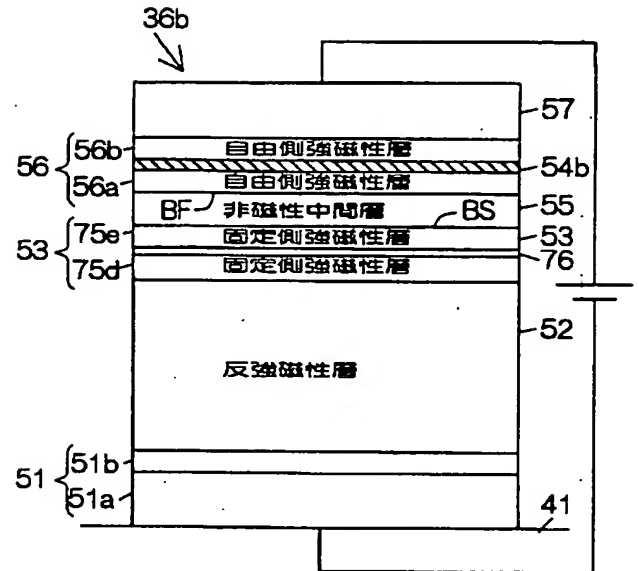
【図18】



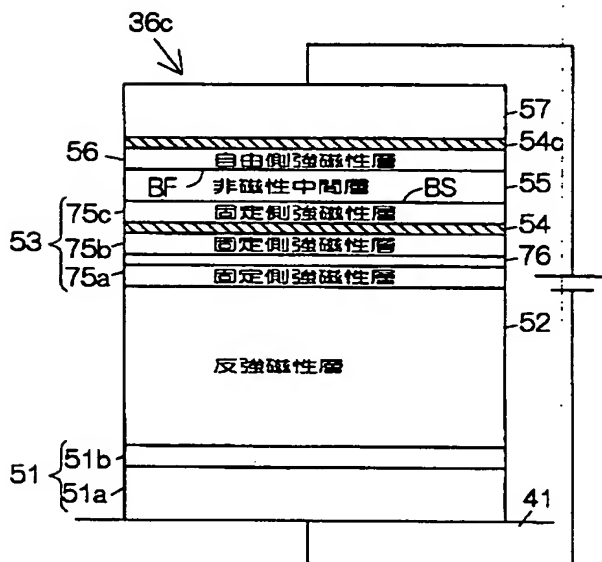
【図15】



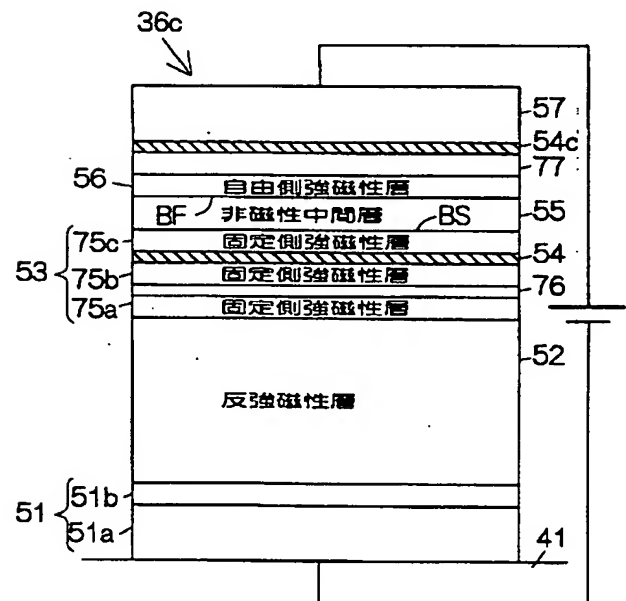
【図16】



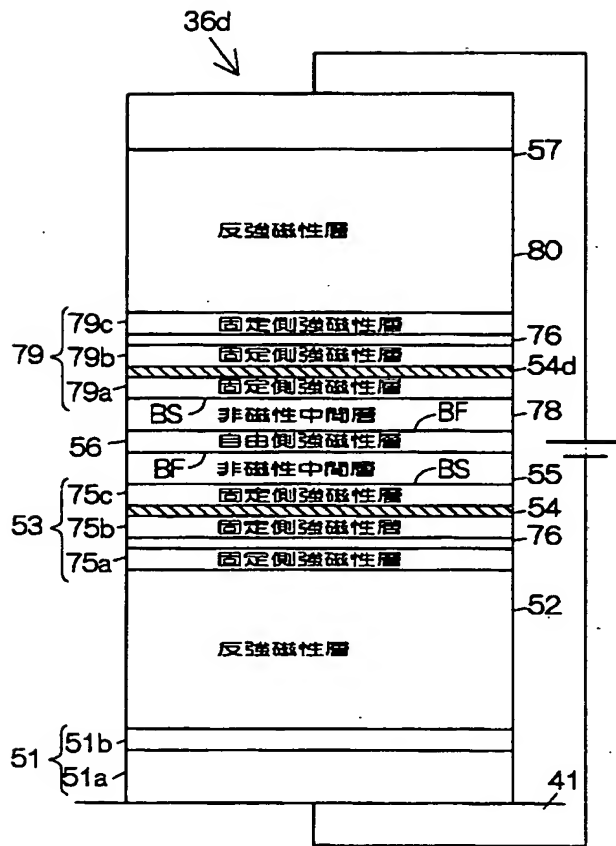
【図17】



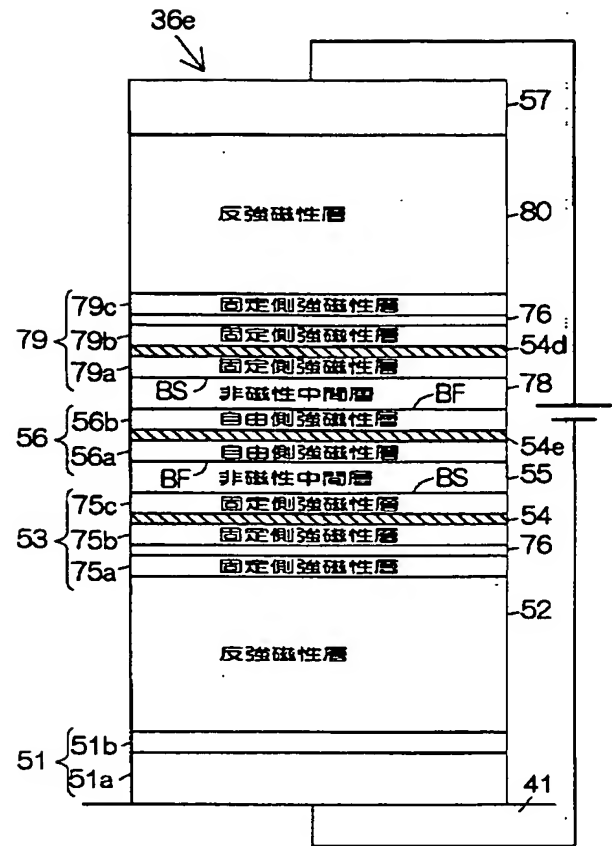
【図19】



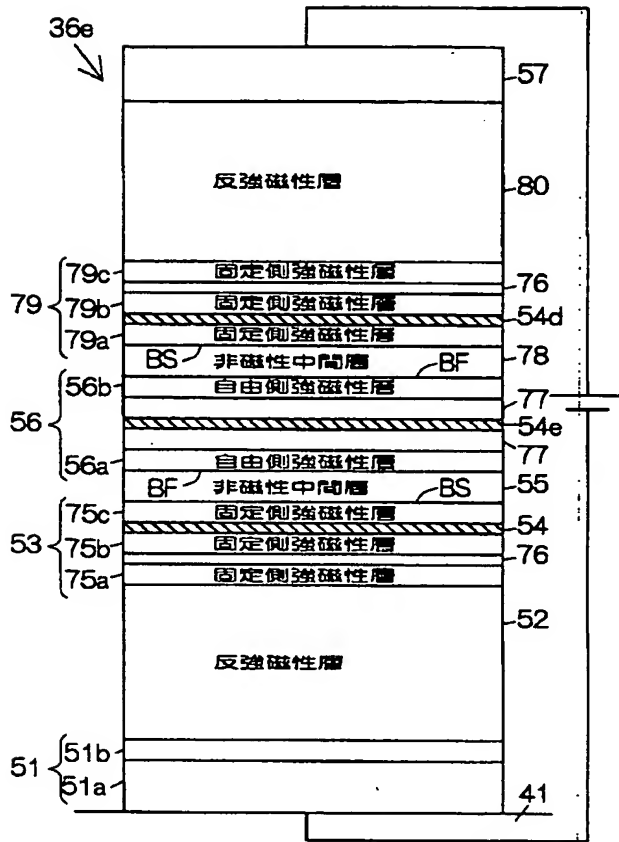
【図20】



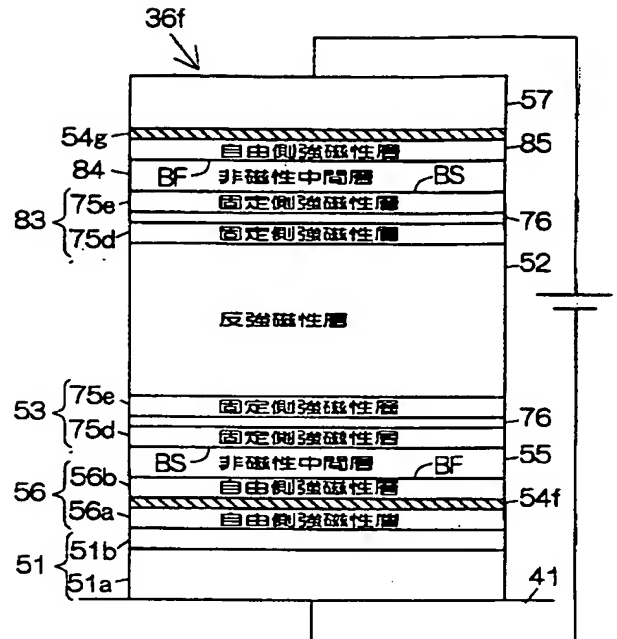
【図21】



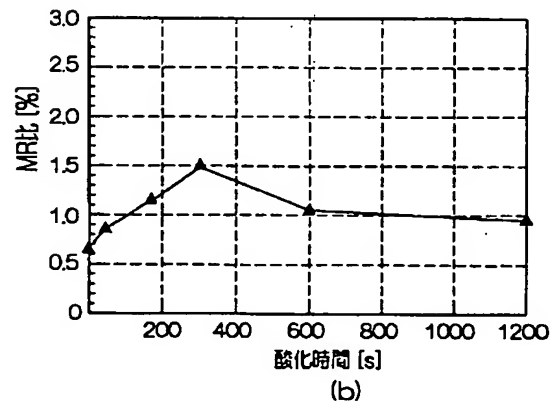
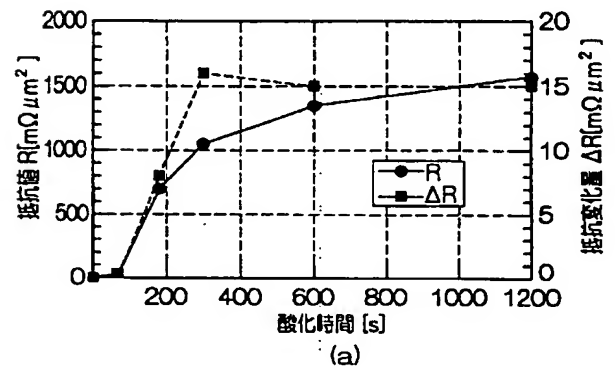
【図22】



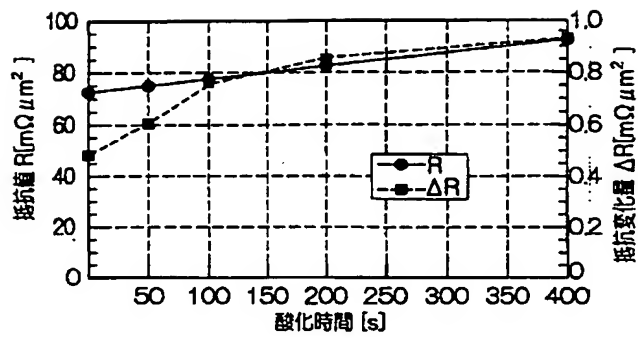
【図23】



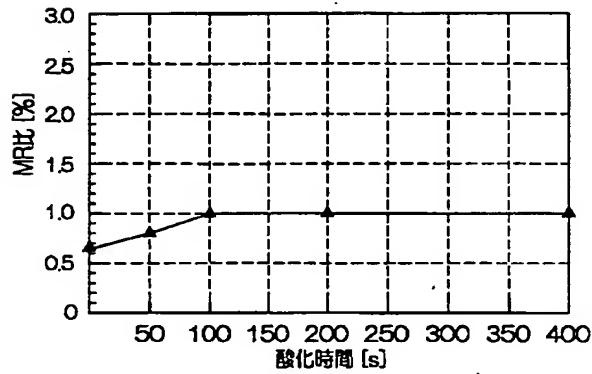
【図27】



【図24】

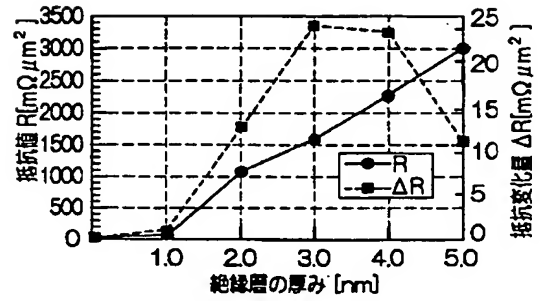


(a)

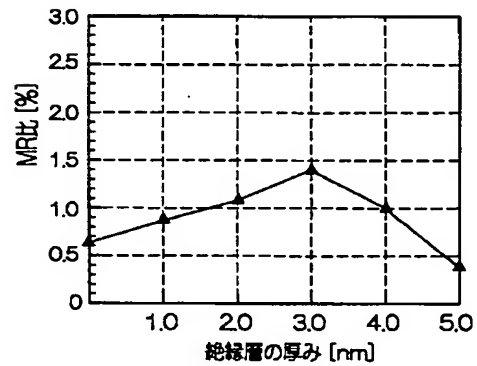


(b)

【図25】

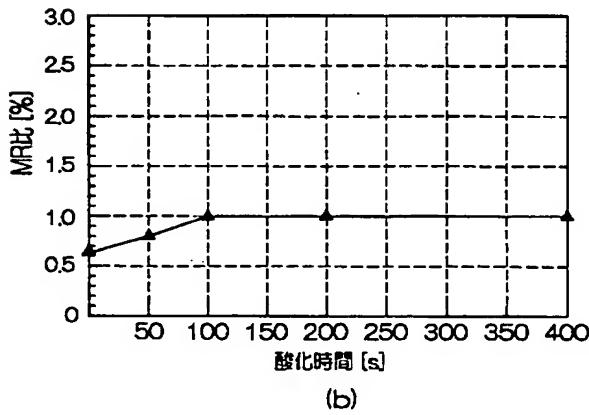
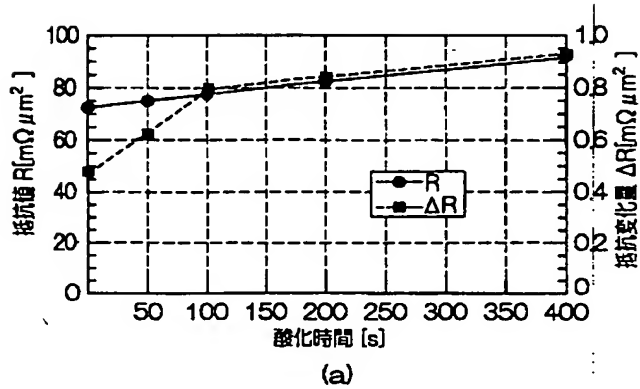


(a)

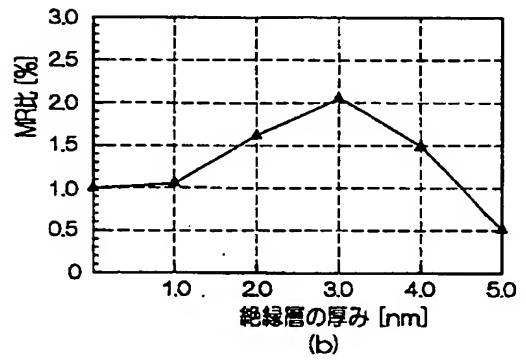
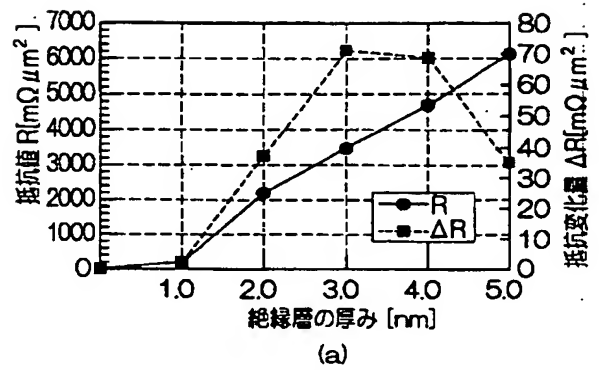


(b)

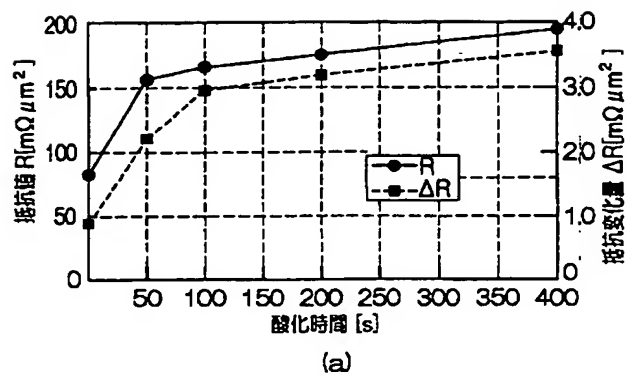
【図26】



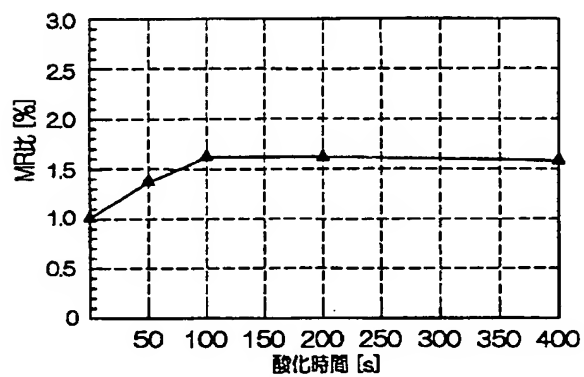
【図28】



【図 29】

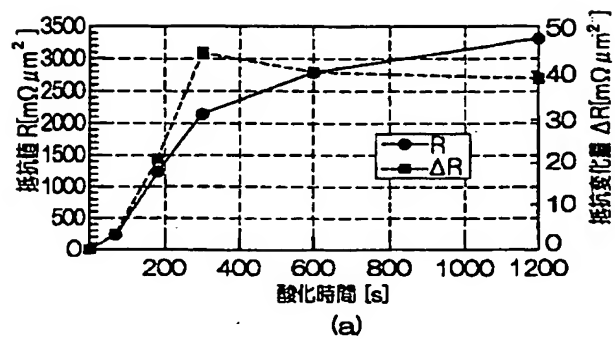


(a)

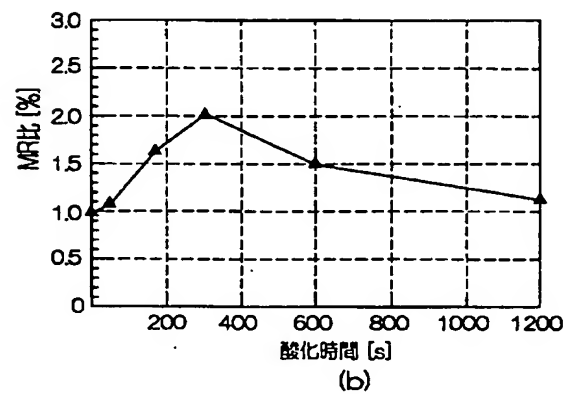


(b)

【図 30】

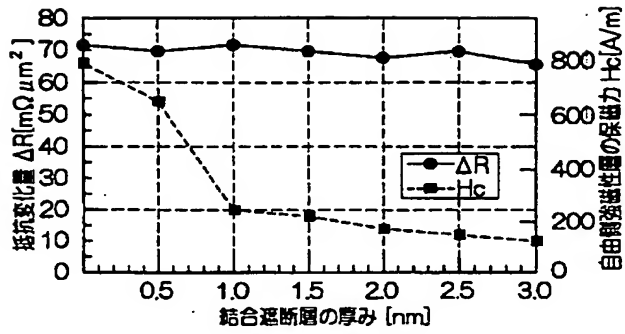


(a)

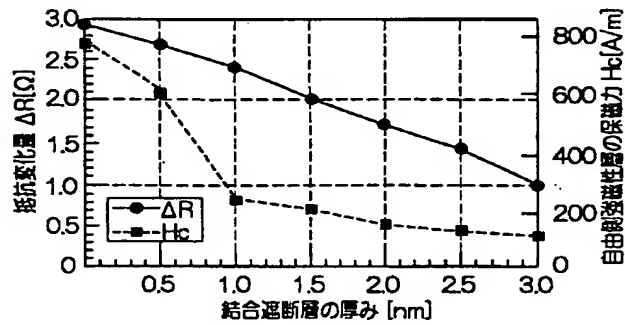


(b)

【図31】

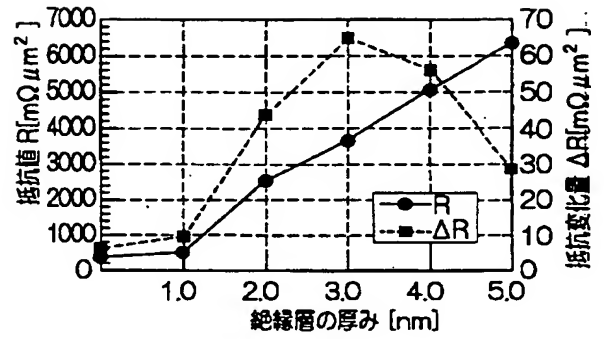


(a)

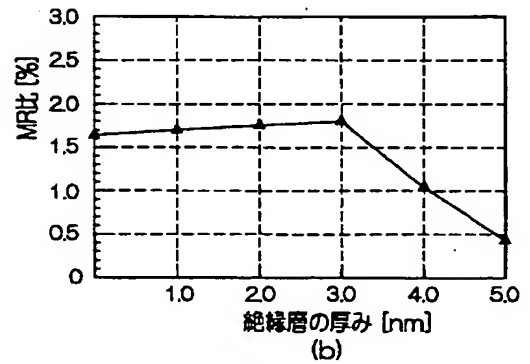


(b)

【図32】

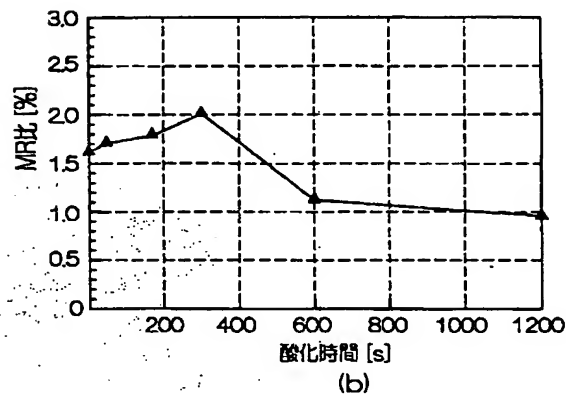
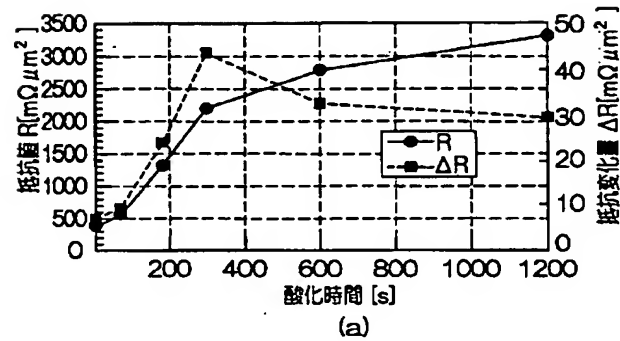


(a)



(b)

【図33】



フロントページの続き

(72)発明者 長坂 恵一
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 清水 豊
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 2G017 AA10 AB07 AD54
5D034 BA04 BA15 CA04 CA08
5E049 AA04 AA09 AC00 AC05 BA12
CB02 DB12